

# COOPERATIVE AND CONNECTED MOBILITY FILED TESTING ENVIRONMENT

**Václav Mecero**

Doctoral Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xmecero01@vutbr.cz

Supervised by: Miroslav Balík

E-mail: balik@feec.vutbr.cz

**Abstract:** Cooperative Intelligent Transportation System (C-ITS) and its services are paving the way to safer future on the roads and higher levels of autonomous mobility. Not only the technology availability, but also legal acts of European Commission are enabling research, development and consequent deployment of such services. It increases the demand on hardware and software conformance testing with the current and future standards as well as service interoperability across member states of the European Union. In this paper, we present a complete cooperative and connected mobility filed testing environment. It simplifies otherwise difficult task demanding sophisticated preparation, vehicle integration, field test management, data gathering and processing.

**Keywords:** C-ITS, V2X, CCAM

## 1 ÚVOD

Kooperativní, bezdrátově komunikující, automatizovaná a autonomní mobilita CCAM (Cooperative, Connected, Automated and Autonomous Mobility) není pouze zaužívaným termínem v oblasti výzkumu moderních technologií pro budoucí dopravu, ale pomalu rozšiřující se realitou. A to především díky nově vnikající právní regulaci na půdě Evropské komise. Ta je v tuto chvíli připravena ve formě oficiálního návrhu a zveřejněná k připomínkám veřejností. V současnosti je zaměřena především na kooperativní systémy inteligentní dopravy C-ITS (Cooperative Intelligent Transportation Systems), formující podskupinu CCAM. Tento akt v přenesené pravomoci zahrnuje jak detailní technické požadavky na zařízení zprostředkující komunikaci mezi účastníky provozu na pozemních komunikacích (dále jen účastník provozu), tak i systémové požadavky na služby a zabezpečení. Ty budou zajišťovat především zvýšenou bezpečnost všech účastníků provozu a efektivitu přepravy.

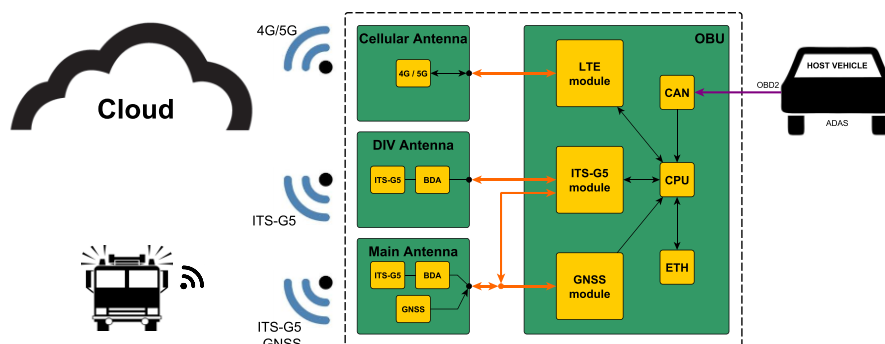
Ovšem samotná legislativa pro přenesení výsledku výzkumu do reálného provozu nestačí. S tímto záměrem vzniká nová platforma složená z expertů z výzkumné, veřejné i soukromé sféry. Je založena na základě adoptovaného sdělení Komise ostatním orgánům Evropské Unie „Na cestě k automatizované mobilitě: strategie EU pro mobilitu budoucnosti“ (COM(2018) 283 final). Jedná se o jednotnou platformu pro testování na silnicích a prvotní nasazení kooperativní a bezdrátově komunikující automatizované a autonomní mobility (oficiálně Single Platform for open road testing and pre-deployment of cooperative, connected, automated and autonomous mobility).

Z výše uvedeného je zřejmé, že každý, kdo chce přispět k tomuto trendu v kterékoliv z vyjmenovaných oblastí, musí disponovat vybavením umožňujícím jak prvotní ověření jednotlivých tezí a předpokladů, tak testy v komplexním prostředí jakým může být například vytížená pozemní komunikace za plného provozu. Následující kapitoly jsou věnovány popisu navržených a následně postupně realizovaných bloků tvořících komplexní prostředí pro testování kooperativních a bezdrátově komunikujících systémů v provozu na pozemních komunikacích. Celé testovací prostředí bylo vytvořeno ve spolupráci s týmem expertů firmy Alps Alpine CO., LTD.

## 2 HARDWAROVÉ VYBAVENÍ TESTOVACÍHO PROSTŘEDÍ (ITS JEDNOTKA)

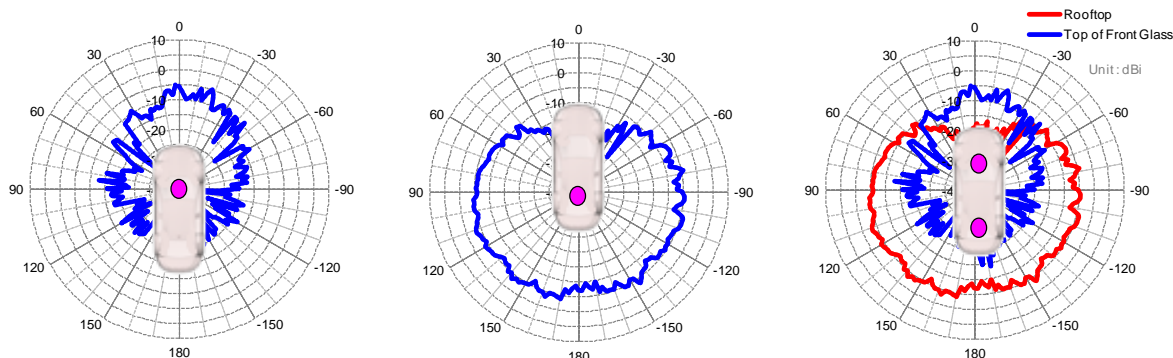
V současnosti jsou služby C-ITS realizované především bezdrátovou komunikací známou na území Evropy jako ITS-G5 a z velké míry standardizovanou v rámci ETSI. Hardware odpovídající nejen těmto standardům ale i budoucím požadavkům již zmínovaného aktu v přenesené pravomoci je nezbytným základem pro jakýkoliv test. Mezi základní ITS jednotky patří především palubní jednotka OBU (On Board Unit) pro vozidlo, osobní jednotka PU (Personal Unit) určená například pro chodce, nebo cyklisty a jednotka infrastrukturního bodu RSU (Road Side Unit). Hardware popsaný v následujících odstavcích je schopen pracovat v režimu OBU i RSU a komunikovat s PU, která je realizovaná mobilním telefonem.

ITS jednotka vyhovující již zmíněným požadavkům je zobrazená na obrázku 1. Linuxový operační systém založený na Yocto Project běžící na ARM Cortex-A9 CPU s 2 GB RAM. Jednotka je vybavena běžně využívanými rozhraními jako Ethernet, UART, CAN, USB. Nezbytnou součástí je ITS-G5 blok zajišťující komunikaci s okolními ITS jednotkami.



Obrázek 1: ITS jednotka

Fyzická vrstva je plně v souladu se standardem IEEE 802.11p, který zajišťuje interoperabilitu nejen v Evropě ale v globálním měřítku. Velkou předností ITS-G5 bloku je zvolená modulární architektura umožňující testování různých dostupných technologických variant. Příkladem mohou být jedno/dvou kanálové, nebo diverzitní varianty, či různé implementace hardwarového bezpečnostního modulu zajišťující bezpečné uchovávání soukromých klíčů pro realizaci zabezpečení komunikace. Nutnost testování různých modifikací pro konkrétní typ jednotky, nebo vozidla znázorňují výsledky prezentované na ITS World Congress [1] a zobrazené na obrázku 2. Měření porovnává vyzařovací charakteristiky s jednou a dvěma anténami v diverzitním zapojení. Věsměrové vyzařovací charakteristiky bylo dosaženo právě v diverzitním zapojení.



Obrázek 2: Umístění antény v přední části střechy (vlevo), umístění antény v zadní části střechy (uprostřed), umístění dvou antén na vozidle v přední a zadní části střechy současně.

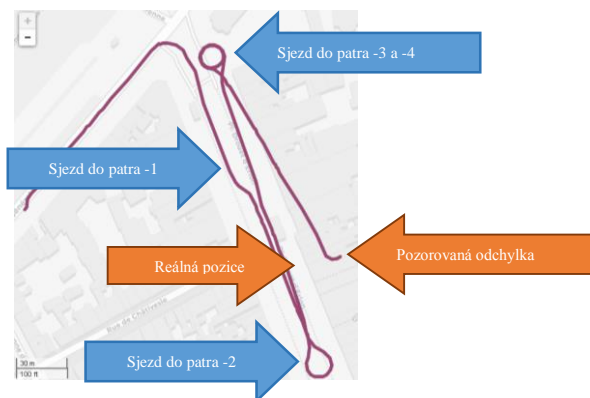
Výhodou dosažené všesměrovosti je především neblokovaní signálu tvarem karoserie daného vozu a tak mimo jiné také lepší pokrytí C-ITS službou. Příkladem pak je měření provedené v rámci testu interoperability pod záštitou organizace InterCor v oblasti francouzského města Remeš. Při instalaci

antén v diverzitním zapojení (modré linky na obrázku 3 vlevo), bylo dosaženo mimo jiné většího komunikačního rozsahu v řádu nižších desítek procent s fixně instalovanou RSU.



**Obrázek 3:** Modré šestiúhelníky na mapě vlevo znázorňují RSU, oranžové křivky variantu s jednou anténou ve středu střechy vozidla, modré křivky variantu v diverzitním zapojení. Vpravo pak reálná instalace antén na vozidle.

Dalším blokem je lokalizační modul. Stejně jako v případě ITS-G5 komunikačního bloku je i tato část řešena modulárně. Tedy je možné využít těch nejnovějších lokalizačních technologií dostupných na trhu. Přesná lokalizace je nezbytná i v případě ztráty lokalizačního signálu GNSS (Global Navigation Satellite System).



**Obrázek 4:** Ukázka nepřesnosti starého lokalizačního modulu v podmínkách podzemního parkoviště, tedy bez GNSS signálu.

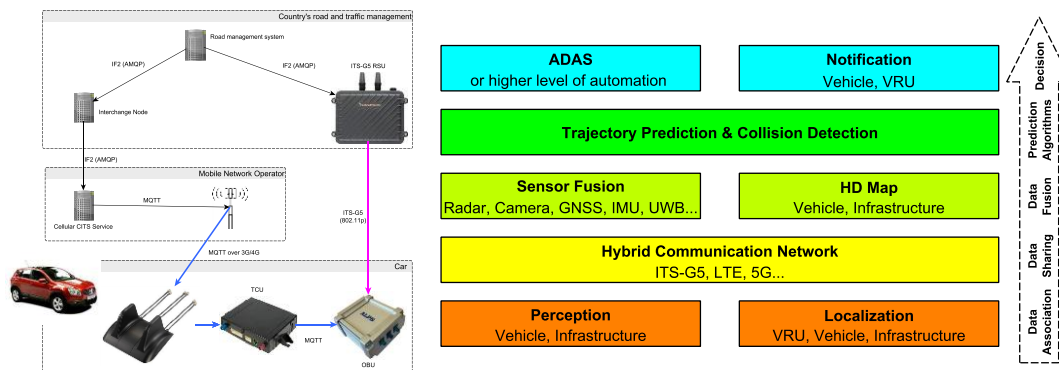
Obrázek 4 znázorňuje nepřesnosti lokalizačních dat v čtyřpatrovém podzemním parkovišti, tedy za využití odometrie vozu a třísosého senzoru. Oranžová šipka ukazuje bod maximálního vychýlení po sjetí do nejnižšího patra parkoviště. Průjezd nejnižším patrem by měl být rovnoběžný s průjezdy prvním a druhým podzemním patrem.

V rámci druhé čtvrtiny roku 2019 bude nedostatečně přesný lokalizační blok nahrazen novým multikonstelačním a multifrekvenčním modulem podporujícím vysoce přesné MEMS senzory a upřesňující data RTK (Real-Time Kinematic).

Blok zajišťující připojení do internetu, v současnosti LTE modem, umožňuje rozšíření komunikačního rozsahu a také reálnou kapacitu jinak výrazně omezených ITS-G5 kanálů. Ty jsou vyhrazeny především pro časově kritické služby zvyšující bezpečnost účastníků provozu. Služby pro zvýšení efektivity přepravy, nebo komfortu posádky nejsou tolik citlivé na zpoždění v mobilních sítích a mohou tedy využívat i tuto formu přenosu informace.

Typická architektura takzvané hybridního systému komunikace (spojující ITS-G5 a mobilní sítě) je znázorněna na obrázku 5 vlevo. Ta byla s popisovaným testovacím zařízením vyzkoušena a ověřena během dalšího z řady evropských testů interoperability pod záštitou organizace InterCor. Takto koncipovaná architektura je rozdělena do třech hlavních logických bloků podle provozovatele/konzumenta služby. Informace vzniká v dopravním řídicím centru a je distribuována dvěma nezávislými komunikačními kanály. Prvním je ITS-G5, tedy vysílána jednotkou

infrastrukturního bodu. Druhým komunikačním kanálem je pak síť mobilního operátora připojená k distribučnímu uzlu dopravního řídicího centra (Interchange Node). Takto distribuovaná informace je přijata telematickou jednotkou TCU (Telematics Control Unit) a zprostředkována palubní jednotce. Zde je ověřena autenticita zpráv z obou komunikačních kanálů a dále zpracovávána obsažená informace.



**Obrázek 5:** Ukázka hybridní architektury sítě (vlevo) a navržené architektury služby zvýšené ochrany zranitelného účastníka provozu, využívající takovou síť (vpravo) [2].

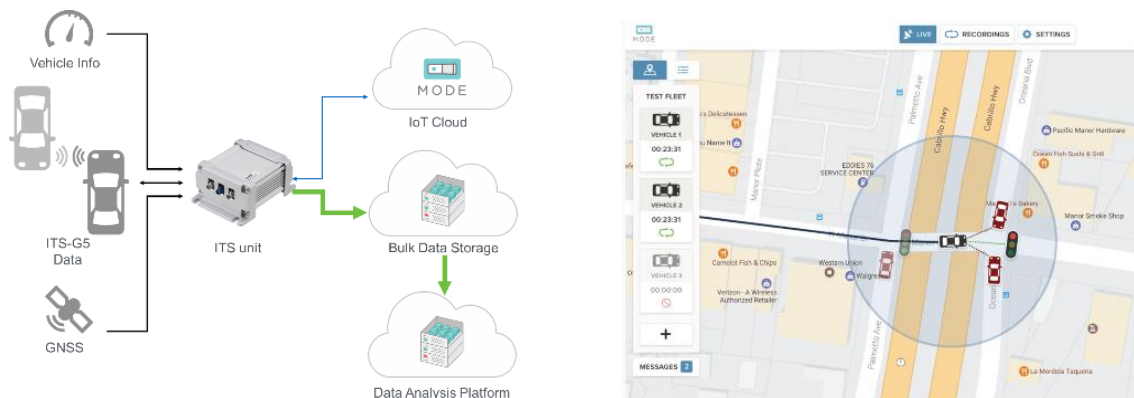
Dalším příkladem využití hybridní sítě je komunikace s jednotkami bez ITS-G5 komunikačního rozhraní (mobilní telefony). Na pravé straně obrázku 5 je architektura služby zvýšené ochrany chodce, jako zranitelného účastníka provozu. Ta také využívá hybridní komunikační síť. Publikace [2] detailně popisuje architekturu sítě i navrhovanou službu.

### 3 SOFTWAREVÉ VYBAVENÍ TESTOVACÍHO PROSTŘEDÍ

Nedílnou součástí je také testování různých komerčně dostupných softwarových komunikačních stacků. Variabilita v tomto směru zajišťuje bezproblémové pokrytí služeb v celosvětovém měřítku. Komunikační stack byl doplněn dalšími aplikacemi umožňující komplexní testování C-ITS služeb.

#### 3.1 CLOUDOVÉ ULOŽIŠTĚ TESTOVACÍCH DAT

Tím hlavním cílem jakéhokoliv testu je sběr dat. A to v co největší míře. Ve spolupráci s firmou Mode Inc. byla vytvořena online databázová aplikace pro agregaci veškerých dat generovaných a přijímaných ITS jednotkou s přístupem v reálném čase. Její zjednodušené blokové schéma je zobrazeno na obrázku 6 vlevo. Výhodou je možnost připojit vícero ITS jednotek a ukládat tak data synchronizovaně na jediném místě. V případě nedostupnosti signálu mobilních sítí, klientská část aplikace běžící na ITS jednotce zaznamenává data po dobu výpadku. Ta jsou po opětovném navázání spojení s online databází nahrána zpětně. Tedy žádná data z průběhu testu nejsou ztracena.

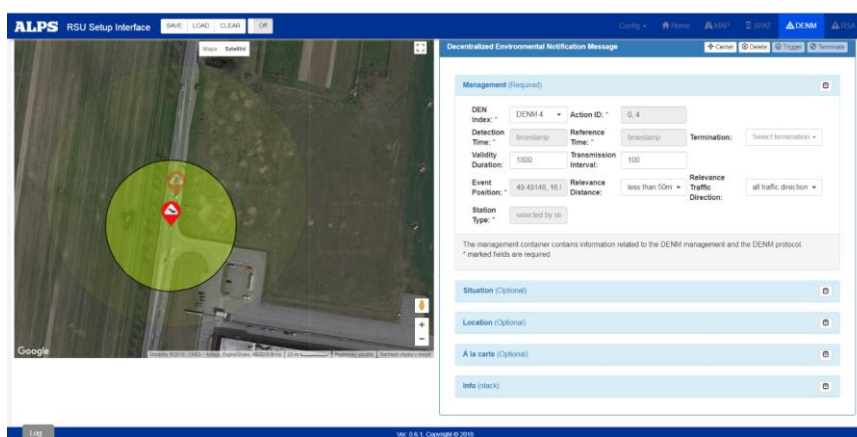


**Obrázek 6:** Diagram cloudového uložení testovacích dat (vlevo) ukázka živé mapy (vpravo).

Serverová část aplikace kromě samotného ukládání dat slouží také pro jednodušší analýzu s možností vykreslování agregovaných dat do živé mapy (viz obrázek 6 vpravo). Takto lze průběh testu prezentovat například na vzdáleném místě a tak jeho účastníky také koordinovat. Pro pozdější analýzu průběhu testu je zde možnost zpětného přehrávání záznamů a samozřejmě je pak neomezený přístup k veškerým uloženým datům.

### 3.2 EMULACE INFRASTRUKTURNÍ JEDNOTKY

Diskutované komplexní testovací prostředí zahrnuje také emulaci infrastrukturní jednotky. Ta umožňuje sestavování a generování ITS zpráv zajišťující služby dopravního řídicího centra. Příkladem takovýchto služeb může být doporučení optimální rychlosti vozidla GLOSA (Green Light Optimized Speed Advise), výstraha průjezdu na červenou (Red Light Violation), proměnlivá dopravní značka (In Vehicle Signage), nebo výstraha před nebezpečnou oblastí (Hazardous Location Warning). Její první verze byla s úspěchem prezentovaná na EEICT ročník 2018 [3]. Od té doby byla rozšířena o další moduly realizující formulaci zpráv, jako například zpráva informující o aktuální situaci na pozemní komunikaci. Obrázek 7 zobrazuje uživatelské rozhraní po tomto rozšíření.



**Obrázek 7:** Ukázka uživatelského prostředí emulace infrastrukturní jednotky.

## 4 ZÁVĚR

Ve spolupráci s firmou Alps Alpine CO., LTD. vznikla komplexní platforma pro testování kooperativních systémů inteligentní dopravy zaměřující se na zvýšení bezpečnosti a efektivity jak osobní tak nákladní přepravy na pozemních komunikacích a také přispívající k ochraně zranitelných účastníků provozu. Takto připravená platforma je nezbytným vybavením každého, kdo má zájem přispět svým výzkumem do kooperativních systémů inteligentní dopravy a tak se přibližovat všeobecnému trendu autonomní mobility.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory grantu LO1401.

## REFERENCE

- [1] Watanabe F, Nevrlý J, Suzuki T, et al. Design and Installation of Antennas for V2V Collision-Prevention Applications. In: *ITS World Congress Bordeaux*. France, 2015.
- [2] Mecero V, Balík M, Nevrlý J. Vulnerable Road User protection service in connected and cooperative environment. *Elektrorevue*; 20: 158 - 165.
- [3] Gierl J. Emulation of infrastructure unit for intelligent transport system. In: *Proceedings of the 24th Conference STUDENT EEICT 2018*. Brno, Czech Republic: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018, pp. 283 - 285.